



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE PREGRADO

“EVALUACIÓN DE SUSTRATOS LIBRES DE TURBA PARA LA PRODUCCIÓN DE MICROGREENS DE *BRASSICA RAPA* VAR. *NIPPOSINICA* EN AMBIENTE CONTROLADO”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

**Biólogo Ambiental**

**MARTÍN ALONSO CHACÓN INOSTROZA**

Director del Seminario de Título: Ph.D. Ricardo Pertuzé Concha

Co-Director: Dr. Víctor Escalona Contreras

Patrocinante: Dra. Carezza Botto Mahan

Junio 2023  
Santiago - Chile



## INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el candidato:

**MARTÍN ALONSO CHACÓN INOSTROZA**

**“EVALUACIÓN DE SUSTRATOS LIBRES DE TURBA PARA LA PRODUCCIÓN DE MICROGREENS DE *BRASSICA RAPA* VAR. *NIPPOSINICA* EN AMBIENTE CONTROLADO”**

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo Ambiental.

*Ing. Agr. Ph.D. Ricardo Pertuzé Concha*

**Director Seminario de Título**

-----

*Dr. Víctor Escalona Contreras*

**Co-Director Seminario de Título**

-----

*Dra. Carezza Botto Mahan*

**Profesora Patrocinante**

-----

### **COMISIÓN REVISORA Y EVALUADORA**

*Ing. Agr. Ph.D. Rosa Scherson Vicencio*

**Presidenta Comisión**

-----

*Dra. Claudia Stange Klein*

**Evaluadora**

-----

Santiago de Chile, Junio 2023

## BIOGRAFÍA



**Martín Alonso Chacón Inostroza.** Nací el 7 de abril de 1997 en Santiago de Chile. Hijo de Judith y Carlos, que junto a mis abuelos me mostraron la magia del mundo. Desde niño me ha atraído la contemplación, el cuestionamiento, la expresión de las esencias, el movimiento. Cursé toda mi enseñanza escolar en el Liceo Salesiano Manuel Arriarán Barros, donde conocí a quienes fueron grandes amigos. El 2015 comencé mis estudios de Biólogo Ambiental en la Universidad de Chile. Ahí viví amistades, amores e historias que han dejado marcas en mi corazón. Mis inquietudes artísticas y creativas perduraron mientras aprendía sobre ecología, matemáticas, problemas ambientales y termodinámica, y me acompañan hasta hoy, *ad portas* de culminar una etapa. Mi interés por la sustentabilidad se fusionó con la necesidad de asegurar la producción de alimento en este mundo cambiante, lo que me llevó hasta la agricultura vertical y los *microgreens*. Me encantaría que la agroecología, la restauración y los sistemas de producción de energías se unieran en armonía, impulsando el desarrollo de una sociedad donde cada quien tenga la oportunidad de encontrar su lugar para vivir como le apasione. Saludos a mi hermano.

*A nuestro planeta, a las turberas y a los microgreens.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi profesor guía Ricardo Pertuzé por haber confiado en mi propuesta. A Mónica y María José por su disposición a enseñarme. Al profesor Óscar Seguel, a Hugo, a Andrea, a Ayleen y a Marcelo por su amabilidad, por abrirme las puertas de sus laboratorios y por apoyarme con los análisis fisicoquímicos. A María Angélica, Lissett y Laydy por salvarme cuando lo necesitaba. Al profesor Víctor Escalona por disponer del CEPOC para la materialización de mi proyecto. A la profesora Carezza Botto por interesarse en mi trabajo y resolver mis dudas con excelente disposición. A quienes participaron del análisis sensorial. A mis amigxs y familia por acompañarme en esta vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
Sustratos y medios de cultivo.....	7
Turba.....	8
Perlita.....	9
Fibra de coco.....	9
Aserrín.....	10
Cascarilla de arroz.....	10
Arpillera.....	10
Malla mosquitera.....	11
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	12
Diseño experimental.....	12
Perfil fisicoquímico.....	13
Densidad real (DR).....	13
Densidad aparente seca (DA).....	14
Curva característica.....	14
pH y CE.....	14
Evaluaciones.....	14
Registro fotográfico.....	14
Altura.....	14
Rendimiento.....	15
Carga microbiana.....	15
Análisis sensorial.....	15
Costo por bandeja.....	16
Análisis estadístico.....	16
<b>RESULTADOS</b> .....	18
Perfil fisicoquímico.....	18

Rendimiento, altura y porcentaje de cobertura foliar.....	20
Carga microbiana.....	21
Análisis sensorial.....	22
Costo por bandeja.....	24
<b>DISCUSIÓN Y PROYECCIONES.....</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>33</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>42</b>
<b>Apéndice 1.</b> Medios de crecimiento evaluados en este estudio. (T) turba, (F) fibra de coco, (AS) aserrín, (CAS) cascarilla de arroz, (AR) arpillera, (M) malla mosquitera.....	42
<b>Apéndice 2.</b> Esquema del bloque perteneciente al diseño experimental.....	43
<b>Apéndice 3.</b> Sustratos listos para ser sembrados.....	43
<b>Apéndice 4.</b> Esquema de riego por subirrigación.....	44
<b>Apéndice 5.</b> Rendimiento de <i>microgreens</i> de mizuna cultivados en bandejas con diferentes sustratos.....	44
<b>Apéndice 6.</b> Altura de mizuna cultivada en bandejas de diversos sustratos a los 10 días de siembra.....	45
<b>Apéndice 7.</b> Porcentaje de cobertura foliar en cada sustrato.....	45
<b>Apéndice 8.</b> Cobertura foliar de bandejas con diferentes sustratos. De la primera a la última imagen, <i>microgreens</i> creciendo en (T) turba, (F) fibra de coco, (AS) aserrín, (CAS) cascarilla de arroz, (AR) arpillera y (M) malla mosquitera.....	46
<b>Apéndice 9.</b> Recuento de UFC totales en cada tratamiento de acuerdo al análisis realizado a muestras frescas de <i>microgreens</i> y a muestras frescas de sustrato.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Porcentaje de contenido hídrico de los tratamientos a distintas presiones o niveles freáticos.....	18
<b>Tabla 2.</b> Retención de agua (RA), poros con aire (PA), densidad real (DR), densidad aparente (DA), pH y conductividad eléctrica (CE) de cada tratamiento.....	19
<b>Tabla 3.</b> Rendimiento promedio, índice de incremento, altura promedio y porcentaje de cobertura foliar promedio (% CF) de cada tratamiento.....	20
<b>Tabla 4.</b> Rentabilidad de <i>microgreens</i> de mizuna en distintos sustratos asumiendo un valor de \$120 g <sup>-1</sup> de acuerdo a su rendimiento (Tabla 3).....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Curva característica agua-sustrato de los medios de crecimiento expresando el contenido hídrico a distintas presiones.....	19
<b>Figura 2:</b> Recuento de Unidades Formadoras de Colonias (log UFC g <sup>-1</sup> ) en muestras de cultivo. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.....	21
<b>Figura 3:</b> Recuento de Unidades Formadoras de Colonias (log UFC g <sup>-1</sup> ) en muestras de cada sustrato. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.....	22
<b>Figura 4:</b> Grado de aceptación general de <i>microgreens</i> de mizuna verde cultivados en distintos sustratos. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.....	23
<b>Figura 5:</b> Puntaje obtenido por cada tratamiento en los distintos atributos evaluados en el análisis sensorial. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.....	23

## LISTA DE ABREVIATURAS

CE = Conductividad eléctrica.  
PA = Poros con aire.  
RA = Retención de agua.  
DR = Densidad real.  
DA = Densidad aparente seca.  
NFT = *Nutrient film technique*.  
T = Turba.  
F = Fibra de coco.  
AS = Aserrín.  
CAS = Cascarilla de arroz.  
AR = Arpillera.  
M = Malla mosquitera.  
DBCA = Diseño en bloques completos aleatorizados.  
PPFD = *Photosynthetic photon flux density*.  
UFC = Unidades formadoras de colonias.  
%CF = Porcentaje de cobertura foliar

## RESUMEN

Se proyecta que para el 2050 la población mundial bordeará los 10 billones: la escasez hídrica, la desertificación, la disminución de la tierra cultivable por persona, la expansión de las ciudades y la producción sustentable de alimentos son actualmente importantes desafíos. El desarrollo de la tecnología ha mejorado la eficiencia y precisión del manejo de recursos, aportando resiliencia al cambio climático, mitigando el impacto ambiental de la agricultura y ofreciendo alternativas como el cultivo vertical, la agricultura en ambientes controlados, el enfoque de producción circular o el cultivo intensivo de alimentos de ciclo de producción corto como los *microgreens*. Particularmente, los *microgreens* son plántulas tiernas cosechadas de una a tres semanas desde su germinación, requieren poca agua en comparación a un cultivo adulto, presentan alto valor nutricional y gastronómico, y en un contexto de crisis climática y alimentaria pueden ser una excelente fuente de alimento fresco y saludable. Suelen cultivarse sin suelo en distintos medios de crecimiento, siendo la turba el de mayor utilización a nivel mundial debido a su buen conjunto de propiedades fisicoquímicas y biológicas (aireación, pH, retención de agua y resistencia a la degradación). Sin embargo, la explotación de turba acelera el cambio climático e implica la degradación de ecosistemas de formación muy lenta (turberas) con un rol clave en la regulación de gases de efecto invernadero, el clima y los ciclos hidrológicos. Por ello, es indispensable buscar alternativas sustentables que permitan reemplazarla. Para esto, se evaluó el uso de fibra de coco, aserrín, cascarilla de arroz, arpillera y malla mosquitera como alternativa a una mezcla de turba+perlita para el cultivo de *microgreens* de mizuna verde (*Brassica rapa* var. *nipposinica*) en ambiente controlado, determinando atributos de

calidad del producto cosechado enfatizando la huella ambiental asociada a cada medio de cultivo. Se observó que el sustrato influye en el rendimiento obtenido. Ningún tratamiento consiguió el desempeño de la mezcla turba+perlita (73,70 g/bandeja, 6,3 cm de altura y 89,853 % de cobertura foliar), sin embargo, la fibra de coco y la cascarilla de arroz se presentan como buenas alternativas debido a sus ventajas ambientales y a que después de la turba presentaron los valores más altos de rendimiento (52,72 g/bandeja y 45,78 g/bandeja, respectivamente) y altura (ambos 5,4 cm). La buena relación costo/beneficio del aserrín (2,7 veces más alta que la turba) lo convierte en un material de alto potencial productivo. La carga microbiana no varió significativamente entre los tratamientos para las muestras de *microgreens* frescos, pero sí lo hizo en las muestras de sustrato, donde la malla mosquitera alcanzó valores significativamente más altos que el aserrín y la fibra de coco. El perfil sensorial no se vio afectado significativamente por el tratamiento.

## ABSTRACT

It is projected that by 2050 the world's population will be close to 10 billion: water scarcity, desertification, the decrease in arable land per capita, the expansion of cities and sustainable food production are currently major challenges. The development of technology has improved the efficiency and precision of resource management, providing resilience to climate change, mitigating the environmental impact of agriculture and offering alternatives such as vertical farming, controlled environment agriculture, the circular production approach or growing intensively short production cycle food such as microgreens. Particularly, microgreens are tender seedlings harvested from one to three weeks after germination, require little water compared to a fully developed crop, have high nutritional and gastronomic value, and in a climate and food crises context they can be an excellent source of fresh and healthy food. They are usually grown without soil in different growth media, being peat the most widely used due to its good set of physicochemical and biological properties (aeration, pH, water retention and resistance to degradation). However, peat exploitation accelerates climate change and involves the degradation of very slowly forming ecosystems (peatlands) with a key role in regulation of greenhouse gases, climate and hydrological cycles. The aim now is to look for sustainable alternatives to replace it. The use of coconut fiber, sawdust, rice husks, burlap and mosquito netting was evaluated as an alternative to a mixture of peat+perlite for the cultivation of green mizuna microgreens (*Brassica rapa* var. *nipposinica*) in a controlled environment, determining quality attributes of the harvested product emphasizing the environmental footprint associated with each growth medium. The substrate influenced the yield obtained (g/tray). No treatment achieved the

performance of the peat+perlite mixture (73,70 g/tray, 6,3 cm height and 89,853 % leaf cover), however, coconut fiber and rice husk are presented as good alternatives due to their environmental advantages, showing the highest yield values (52.72 g/tray and 45.78 g/tray, respectively) and height (both 5.4 cm) after peat. The good cost/benefit ratio of sawdust (2.7 times higher than peat) places it as a material with high microgreen productive potential. Microbial load did not significantly vary between the treatments for the fresh microgreens samples, but it did in the substrate samples, where the mosquito netting reached significantly higher values than sawdust and coir. The sensory profile was not significantly affected by the treatment.

## INTRODUCCIÓN

En años recientes ha cobrado importancia el replanteamiento de las prácticas agrícolas tradicionales debido a su impacto ambiental y a las dificultades que enfrenta de cara a satisfacer la demanda alimentaria de la población creciente en un contexto de crisis climática. El mayor desafío del siglo XXI es alimentar a la población mundial de forma sustentable, a lo que se suma la importancia de la conservación de los suelos y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos asociados (Muller y col., 2017; Cowan y col., 2022). Los avances en tecnologías de automatización, iluminación y control de riego han impulsado el desarrollo de métodos que permiten optimizar el uso de agua, mejorar la eficiencia en la fertilización, reducir el espacio necesario para el cultivo y aumentar la producción por m<sup>2</sup>, disminuyendo la polución ambiental y otorgando resiliencia frente al cambio climático (Martellozzo y col., 2014; Shamshiri y col., 2018). En esa línea se encuentran tendencias como la agricultura urbana, la agricultura vertical y la agricultura en ambientes controlados, las cuales se caracterizan por ser métodos intensivos donde es posible mantener una producción continua y de calidad durante todo el año. Permiten también prescindir del suelo como medio de cultivo (*soilless culture*), disminuyendo el uso de agroquímicos como pesticidas, fungicidas y herbicidas (Barrett y col., 2016). En estos casos los nutrientes se incorporan al sustrato con humus, compost, té de compost, o bien mediante una solución nutritiva vía fertirrigación, como en el cultivo hidropónico o aeropónico (Solano y col., 2013; Al-Kodmany, 2018; Petropoulos y col., 2021). Esto ha favorecido el mercado para una amplia gama de sustratos y materiales de diversas características, que varían en su composición, su origen (orgánico, inorgánico, sintético) y en aspectos fisicoquímicos como su capacidad

de retención de agua, porosidad, densidad, en sus propiedades biológicas (inocuidad, resistencia a la degradación) y a su manejo como desecho. Uno de los sustratos más utilizados mundialmente es la turba, material orgánico de excelentes características, bajo en nutrientes, ligero, inocuo y con una buena combinación de aireación, drenaje y capacidad de retención de agua. Sin embargo, su uso ha sido cuestionado debido a que no es renovable en el corto y mediano plazo y su obtención genera un impacto ambiental severo (Carlile y col., 2019; Gruda, 2019; Atzori y col., 2021). La turba tiene su origen en las turberas, humedales distribuidos principalmente en latitudes altas cubriendo alrededor de 4 millones de km<sup>2</sup> en todo el mundo. En estos ecosistemas la productividad primaria neta excede a la descomposición de la materia orgánica, generando un colchón de vegetación baja parcialmente descompuesto que se origina en condiciones de anoxia, anegamiento, baja disponibilidad de nutrientes y bajas temperaturas, reuniendo una flora y fauna únicas adaptadas a estas condiciones (Díaz y col., 2015; Atzori y col., 2019). Las turberas constituyen los sumideros de carbono a largo plazo más importantes de la biosfera terrestre y proporcionan servicios ecosistémicos de conservación de biodiversidad, almacenamiento de carbono, regulación del clima global, regulación de la calidad del agua y condiciones hidrológicas locales. Cubren alrededor del 3% de la superficie terrestre y almacenan entre el 21% y el 33% del carbono terrestre total (Días y col., 2015; Atzori y col., 2019). Su extracción acelera el proceso de cambio climático ya que su degradación las transforma en fuentes de emisión neta de carbono, contribuyendo desproporcionadamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (alrededor del 25% del total de emisiones del sector uso de suelos), alterando ciclos hidrológicos, biogeoquímicos y modificando la estructura y biodiversidad de estos ecosistemas (Díaz

y col., 2015, Page y col., 2022). Aparte de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la explotación de las turberas también genera emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, ambos con un efecto mayor al del CO<sub>2</sub> (Joosten y col., 2016). En Chile el origen de las turberas se remonta al período postglacial, y su composición vegetacional se basa principalmente en especies musgosas del género *Sphagnum*, juncáceas, ciperáceas y otras briófitas (Díaz y col., 2015). A esto se debe la importancia de la identificación de alternativas que permitan reemplazar a la turba como sustrato.

Un producto que se ha visto beneficiado por las nuevas tendencias en la agricultura son los *microgreens*, plántulas tiernas de diferentes especies de hortalizas, herbáceas y plantas aromáticas que se cosechan entre 7 a 21 días luego de su germinación, cuando los cotiledones se encuentran completamente desarrollados, con o sin presencia de las primeras hojas verdaderas. Constituyen una excelente fuente de vitaminas, fibra y minerales, por lo que han ganado popularidad como super alimento (Rajan y col., 2019; Renna y Paradiso, 2020; Ebert, 2022; Teng y col., 2022). Comercialmente suelen cultivarse en ambientes controlados utilizando mezclas basadas en turba como medio de crecimiento (Muchjajib y col., 2014). Esto sumado a la brevedad de su ciclo productivo posicionan a los *microgreens* como una buena alternativa para evaluar medios de crecimiento libres de turba.

### **Sustratos y medios de cultivo**

El sustrato es el material o mezcla de materiales distintos del suelo que da soporte a las plantas para que estas crezcan y se desarrollen. Las características fisicoquímicas como pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica (CE), porosidad, poros

con aire (PA), capacidad de retención de agua (RA) y densidad definen las cualidades del sustrato. “El medio de cultivo ideal debe estar disponible localmente, ser relativamente económico, derivar de fuentes renovables y tener una proporción adecuada entre microporos (para garantizar una capacidad de retención de agua suficiente; 55–70 % del volumen total) y macroporos (para garantizar una aireación suficiente; 20–30 % del volumen total). Debe tener un pH en el rango de 5,5 a 6,5, una conductividad eléctrica por debajo de 0,5 dS m<sup>-1</sup> y ser microbiológicamente seguro” (Di Gioia y col., 2017). Existe una amplia variedad de medios de cultivo orgánicos y sintéticos que van desde fibras textiles y de madera hasta hidrocarburos y mallas de acero (Bar-Tal y col., 2019; Carlile y col., 2019, Kamakshi, 2022). Los materiales utilizados en este ensayo fueron seleccionados debido a su fácil disponibilidad, su relativo bajo costo y a su amplio uso a nivel mundial, con suficiente información bibliográfica que respalda su éxito. De acuerdo a esto, se evaluó el desempeño de fibra de coco, arpillera, aserrín, cascarilla de arroz y malla plástica como alternativa a una mezcla de turba+perlita en el cultivo de mizuna verde.

**Turba.** La turba es un material orgánico parcialmente descompuesto de musgo *Sphagnum* sp. y otras especies vegetales de pantano como juncos y totoras que se genera bajo condiciones de anoxia, acidez y anegamiento (Díaz y col., 2015). Posee un buen balance entre porosidad y capacidad de retención de agua, lo cual permite mantener la humedad y la aireación de las raíces. Es resistente a la degradación por microorganismos, siendo un medio de baja carga microbiana libre de enfermedades. Presenta baja densidad aparente, buena capacidad de intercambio catiónico, bajo pH y

bajo contenido de nutrientes, características que en conjunto la convierten en un material de fácil manejo, ideal para el cultivo de una gran variedad de plantas (Gruda, 2019).

**Perlita.** La perlita es una roca ígnea amorfa hidratada formada a partir del enfriamiento de material desprendido en erupciones volcánicas. Está conformada por numerosas capas concéntricas de óxidos de sílice, aluminio, potasio, y sodio con cantidades variables de metales como calcio, hierro y magnesio (Kabra y col., 2013). Sus ventajas como sustrato se centran en que fomenta un rápido desarrollo radicular, reduce el riesgo de marchitamiento, evita el encharcamiento y proporciona un balance adecuado de aire y agua, además de ser inerte, estéril y fácil de manipular, pudiendo sanitizarse y reutilizarse según sea necesario. La capacidad de retención de agua de la perlita depende del tamaño de sus partículas, siendo la perlita ultrafina la que retiene el agua con mayor fuerza. (Asaduzzaman y col., 2013). El proceso de elaboración de la perlita no es sustentable ya que demanda una gran cantidad de energía y se produce mayoritariamente en Europa, dejando una huella de carbono importante asociada a su extracción, procesamiento y transporte (Zulfiqar y col., 2019)

**Fibra de coco.** Es un subproducto de la industria del coco compuesto de fibras cortas y polvillo obtenido al moler el mesocarpio de la fruta. Similar a la turba, entrega un balance adecuado de agua y aire a las raíces, y una vez seco se rehidrata con relativa facilidad. Sus propiedades físicas, químicas y biológicas pueden variar bastante debido a que no se elabora con fines hortícolas, por lo que se recomienda prestar especial atención a los valores de pH y conductividad eléctrica de este sustrato. Sin embargo, ya que se encuentra en abundancia y debido a que presenta un costo ambiental menor que la turba, su uso para cultivo sin suelo ha crecido en los últimos años (Gruda, 2019). Es un

recurso renovable y suele comercializarse en bloques comprimidos de material deshidratado.

**Aserrín.** El aserrín es el polvo o conjunto de partículas que se desprende al aserrar o moler finamente materiales leñosos. Tiene buena capacidad de aireación y absorbe un gran volumen de agua que tiende a perder con relativa facilidad. Sus características varían según la madera de la especie de la cual proviene. En general, la fibra de madera fresca tiende a inmovilizar nitrógeno, por lo que en su preparación como sustrato se le adiciona alguna fuente de este elemento. El aserrín es un recurso renovable (Barrett y col., 2016; Gruda, 2019).

**Cascarilla de arroz.** Es la cubierta protectora dura de los granos de arroz que se obtiene como subproducto de la molienda de las semillas. Contiene entre 75% y 90% de materia orgánica en forma de celulosa, lignina, etc., y el resto es sílice, álcalis y oligoelementos. Se utiliza como absorbente para remover metales pesados de aguas residuales, como combustible y en la fabricación de bioetanol, en enmiendas de suelo, entre otros (Kumar y col., 2013). Es un material orgánico renovable y compostable.

**Arpillera.** Es un material textil orgánico elaborado con hebras de yute u otras fibras vegetales entretejidas de manera holgada conformando una malla flexible y ligera que se deshilacha con facilidad. Generalmente se compone 85% de yute y 15% de kenaf, otra fibra natural, por lo que se trata de un sustrato renovable. Es muy económica, biodegradable y especialmente apropiada cuando el producto se vende vivo, pues es más limpia que el suelo, la fibra de coco o la turba, requisito indispensable en cocinas y restaurantes gourmet. Dado que no se elabora bajo los estándares de sanidad ideales para un medio de cultivo hortícola, es fundamental su sanitización, la cual puede realizarse

por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio por varios minutos. También se recomienda humectar con agua a pH ligeramente ácido. Como su capacidad de retención de agua es baja y su contenido de nutrientes biodisponibles es despreciable, se sugiere utilizar en sistemas de tipo NFT (*Nutrient Film Technique*), donde habrá un régimen de irrigación continuo y un suministro óptimo de nutrientes (Nolan, 2019; Di Gioia y col., 2017).

**Malla mosquitera.** Existen mallas plásticas y metálicas que pueden reutilizarse, disminuyendo la cantidad de residuos generados y facilitando enormemente el trabajo de cosecha y la manipulación del cultivo. Como no se degradan son inocuos y fácilmente sanitizables. Al tratarse de un material sólido su capacidad de retención de agua es despreciable, por lo que al igual que con la arpillera, se recomienda su utilización en sistemas hidropónicos con régimen de irrigación continuo (Kamakshi, 2022).

El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad de distintos sustratos como alternativa a la mezcla de turba + perlita utilizada comúnmente para el cultivo de *microgreens*, determinando parámetros de calidad general y costo monetario de cada tratamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Seis sustratos fueron evaluados: T (control): mezcla de proporción 1:2 de turba Kekkilä Professional DSM 2 W R0632 + perlita Imerys A - 6; F: fibra de coco en bloques; AS: aserrín de pino crudo; CAS: cascarilla de arroz; AR: arpillera de Yute (*Corchorus sp.*) de 270 g m<sup>-2</sup>; M: malla mosquitera con poro de 0,7 mm (Apéndice 1). Cada sustrato fue sanitizado e hidratado en 2,5 L de una solución de peróxido de hidrógeno al 10% por 1 h, enjuagando luego y retirando el exceso de agua.

### Diseño experimental

El ensayo se situó en una cámara de ambiente controlado a temperatura promedio de 21,01°C y humedad relativa promedio de 88,48%, montando un sistema vertical a modo de diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA) de tres réplicas donde cada bandeja de cultivo constituyó una unidad experimental. Cada bloque fue conformado por un estante de tres niveles con capacidad para dos bandejas por nivel, iluminación artificial y ventilación activa, propiciando una adecuada respiración del cultivo, y estabilizando la temperatura y humedad del ambiente (Apéndice 2). Se cultivó mizuna verde (*Brassica rapa* var. *nipposinica* (L.H.Bailey) Hanelt), para lo cual se utilizó semillas Semencoop con 99% de pureza y 99% de germinación almacenadas en oscuridad a 8°C, sembrando a voleo 9 g de semillas sobre bandejas de cultivo de 64 cm x 35 cm x 7 cm preparadas con sustrato, procurando una distribución homogénea sobre toda la superficie. Para los tratamientos T, F, AS y CAS se distribuyó una cama de 2 cm de altura con el sustrato respectivo. Para AR y M se cortó parches de 64 x 35 cm que fueron desplegados en la base de la bandeja generando una capa de material de sustento

para las semillas (Apéndice 3). Para AR y M se utilizó bandejas multiperforadas con el fin de permitir el crecimiento de las raíces hasta el agua del reservorio. Se humectó atomizando intensamente y se cubrió el cultivo con una bandeja dispuesta en contacto directo con las semillas, conteniendo la humedad, aportando oscuridad y homogeneizando la germinación. Se regó con agua de la llave atomizando manualmente hasta el día 5. Cuando los cotiledones estuvieron completamente expandidos, se retiró la bandeja de cubierta y se expuso las plantas a la luz, suministrada por tubos LED situados a 40 cm de altura en un fotoperiodo de 16 h y a una densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) de  $160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Desde este momento hasta la cosecha se aplicó fertirrigación por subirrigación (Apéndice 4) con volumen de riego de 500 ml de solución nutritiva Phostrogen© de  $60 \text{ mg l}^{-1}$  (N: 13%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 10 %; K<sub>2</sub>O: 27 %; Mg: 0,74 %; S: 6,9 %; Mn: < 10 mg/kg; Cu: < 5 mg/kg; Zn: < 10  $\mu\text{g}$ ; Mo: < 50  $\mu\text{g}$ ; Ca: < 0,025 %; B: < 0,02 %).

### **Perfil fisicoquímico**

Se construyó un perfil fisicoquímico simple de cada sustrato evaluando densidad real (DR), densidad aparente seca (DA), retención de agua (RA), poros con aire (PA), pH y CE.

**Densidad real (DR).** Se llenó 12 picnómetros (2 por tratamiento) hasta  $\frac{1}{3}$  de su capacidad con una muestra de cada sustrato, completando el volumen restante con agua destilada. Con esto se estableció una relación entre la masa total del conjunto, la masa del picnómetro con agua sin sustrato y la masa del sustrato seco. El contenido de

humedad de cada sustrato se estableció con la diferencia entre la masa pre y post secado a sol directo de verano por 6 horas.

**Densidad aparente seca (DA).** Para T, F, AS y CAS se determinó la masa de cada material en un volumen conocido. No se estimó la DA de AR ni de M debido a que su utilización no implica un aspecto volumétrico sino área de superficie.

**Curva característica.** La curva característica da cuenta del contenido hídrico del sustrato a distintas presiones y permite estimar la retención de agua (RA) y los poros con aire (PA). Se elaboró utilizando el método cama de arena (*sandbox*), para lo cual se llenó con sustrato 12 cilindros de PVC de ~90 ml (2 por tratamiento) que fueron saturados por inmersión en una columna de agua de 1 cm durante 24 horas. Luego de esto se estabilizó cada muestra en la cama de arena a niveles freáticos de hPa 3, 10, 30, 60 y 330 durante 24 h registrando la masa en cada nivel.

**pH y CE.** Ambos parámetros fueron determinados de acuerdo al manual INIA de Métodos de Análisis de Compost (Sadzawka y col., 2005). Para AR y M no se evaluó pH ni CE debido a la indisolubilidad de estos materiales y a que no se utilizaron en contacto con la solución nutritiva.

### **Evaluaciones**

Al día 10 tras la aparición de la primera hoja verdadera se realizó la cosecha, delimitando con cinta adhesiva un margen interior de 5 cm desde el borde de la bandeja para garantizar una superficie de cosecha estándar.

**Registro fotográfico.** Previo al corte se realizó un registro fotográfico cenital del cultivo a una distancia de 1 m. Con las imágenes obtenidas se estimó un porcentaje de cobertura foliar usando el software libre Canopeo.

**Altura.** Se establecieron nueve puntos de muestreo, tres al margen izquierdo, tres al centro y tres al margen derecho de cada bandeja donde se midió con una regla la altura alcanzada por el cultivo.

**Rendimiento.** Con una tijera sanitizada se cortó los microgreens a 1 cm del sustrato, registrando la masa total por bandeja (g/bandeja). Se estimó un índice de incremento de los gramos de semilla sembrados con respecto a la cosecha para cada tratamiento de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Incremento} = \frac{\text{g promedio de producto cosechado}}{\text{g de semilla sembrados}}$$

**Carga microbiana.** Con el fin de determinar la carga microbiana (bacterias aerobias mesófilas) se tomó de cada tratamiento muestras de 10 g de cosecha y 10 g de sustrato, los cuales fueron homogeneizadas por 1 minuto con 90 ml de agua peptonada tamponada (1 gl<sup>-1</sup>) en un Stomacher. Transcurrido el tiempo se diluyó seis veces una muestra de 1 ml del homogenizado en tubos falcon preparados con 9 ml de agua peptonada, se plaqueó en Plate Count Difco™ y se incubó a 30°C por 48 h. De esta manera se estimó un recuento de UFC (unidades formadoras de colonias) totales.

**Análisis sensorial.** Con muestras de la última réplica se realizó un análisis sensorial mediante una prueba de escala de categorías en la que se evaluó intensidad de color, deshidratación, crocancia, intensidad de sabor, sabor picante, sabor amargo y aceptación general del producto. Se reunió un plantel evaluador conformado por siete personas a las

que se les dio a probar una muestra de 1 g de cada tratamiento. Las muestras fueron preparadas sumergiendo los *microgreens* en una solución sanitizante de NaClO (hipoclorito de sodio) al 1% por 2 minutos, para luego enjuagar y centrifugar.

**Costo por bandeja.** Se determinó la proporción de material por bandeja de cada tratamiento con respecto a su formato de distribución comercial. Para T, F, AS y CAS se estableció un coeficiente de expansión volumétrico disponiendo un volumen seco conocido de cada tratamiento en cilindros de PVC de ~90 ml dejando saturar en agua por 1 h. Luego se estableció una relación entre el volumen seco y el volumen saturado. Para AR y M se determinó el área de material utilizada por bandeja. Además de esto se estableció una relación beneficio/costo para cada sustrato de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\textit{Relación beneficio/costo} = \frac{\textit{Ganancia neta}}{\textit{Costo por bandeja}}$$

La ganancia neta se determinó estableciendo un valor de ganancia estimada, multiplicando el rendimiento (g/bandeja) por el valor del gramo de *microgreen* de acuerdo a un análisis de mercado (\$120 g<sup>-1</sup>) y restando al resultado el costo por bandeja. Esta relación da cuenta del retorno económico de cada sustrato de acuerdo a su costo; valores altos indican una alta ganancia respecto al costo de producción, considerando como costo de producción únicamente al costo por bandeja de cada sustrato.

### **Análisis estadístico**

Los resultados fueron sujetos a análisis de varianza adaptado al DBCA. Las diferencias significativas entre tratamientos fueron analizadas mediante la prueba de Tukey

utilizando el programa R, considerándose estadísticamente significativos los  $P < 0,5$ . Los datos cumplieron con las condiciones de normalidad y homocedasticidad. Las propiedades fisicoquímicas fueron evaluadas de manera descriptiva.

## RESULTADOS

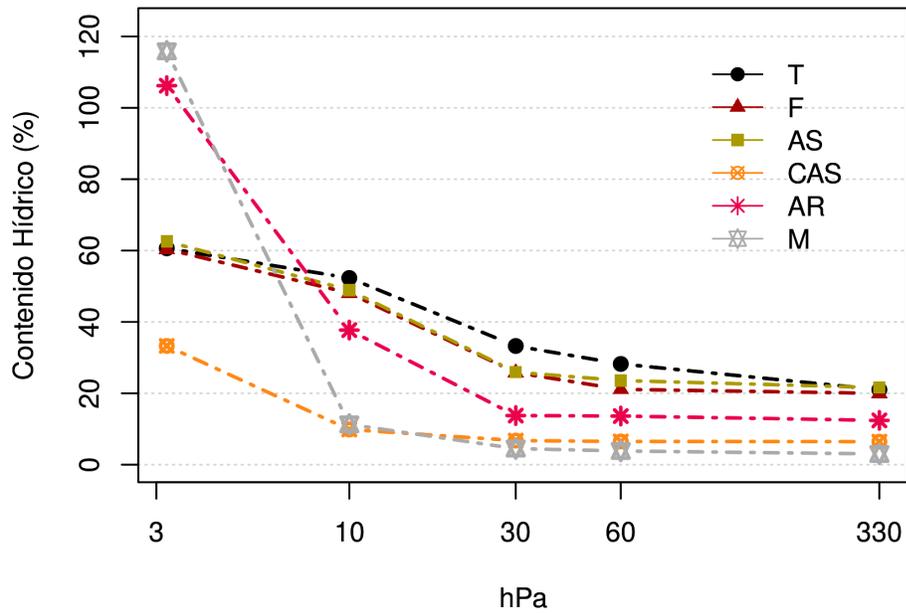
### Perfil fisicoquímico

M y AR presentaron los valores más altos de contenido hídrico en saturación a 3 hPa, experimentando un rápido descenso al aumentar la fuerza de succión hídrica. T, F y AS variaron poco su contenido hídrico y mostraron valores similares (Tabla 1), mientras que CAS presenta los menores valores a bajas presiones (33,28 %). El porcentaje de contenido hídrico de cada tratamiento a 10 hPa corresponde a su valor de retención de agua (RA). Los valores de RA más altos se encontraron en AS, F y T, seguidos por AR, M y CAS (Tabla 2).

**Tabla 1.** Porcentaje de contenido hídrico de los tratamientos a distintas presiones o niveles freáticos.

Fuerza de succión (hPa)	Contenido hídrico de cada sustrato (%)					
	Turba	Fibra	Aserrín	Cascarilla	Arpillera	Malla
3	60,64	60,38	62,55	33,28	106,21	115,83
10	52,31	48,09	48,92	9,85	37,72	11,28
30	33,26	25,8	25,91	6,75	13,76	4,51
60	28,23	21,11	23,58	6,51	13,62	3,84
330	21,01	19,98	21,61	6,45	12,41	3,01

La curva característica de cada tratamiento se presenta en la Figura 1.



**Figura 1:** Curva característica agua-sustrato de los medios de crecimiento expresando el contenido hídrico a distintas presiones. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.

El valor de PA de cada tratamiento está dado por la diferencia entre su porcentaje de contenido hídrico a 3 hPa y 10 hPa, expresando la ganancia de poros con aire entre estos dos niveles freáticos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Retención de agua (RA), poros con aire (PA), densidad real (DR), densidad aparente seca (DA), pH y conductividad eléctrica (CE) de cada tratamiento.

Tratamiento*	RA (%)	PA (%)	DR (g/cm <sup>3</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	pH	CE (μS/cm)
T	52,31	8,3	0,961	0,130	6,35	212,63
F	48,09	12,3	0,733	0,165	5,75	175,67
AS	48,92	13,6	1,643	0,107	6,92	169,07
CAS	9,85	23,4	1,505	0,107	5,58	338,80
AR	37,72	68,5	1,414	-	-	-
M	11,28	104,6	1,476	-	-	-

\*/ T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.

**Rendimiento, altura y cobertura foliar**

Hubo un efecto significativo de los tratamientos sobre el rendimiento ( $P=1,41*10^{-7}$ ). Se observaron diferencias significativas entre T y todos los tratamientos, así como entre F y M (Tabla 3, Apéndice 5). No se observaron diferencias significativas entre los demás tratamientos. El mayor rendimiento promedio lo alcanzó T con 73,7 g/bandeja, seguido por F con 52,72 g/bandeja. AS, CAS y AR presentaron rendimientos similares entre 42 y 46 g/bandeja. El menor rendimiento se observó en M con 36,56 g/bandeja.

**Tabla 3.** Rendimiento promedio, índice de incremento, altura promedio y porcentaje de cobertura foliar promedio (% CF) de cada tratamiento.

<b>Tratamiento*</b>	<b>Rendimiento (g/bandeja)</b>	<b>Incremento</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>% CF</b>
<b>T</b>	73,70 a	8,19	6,3 a	89,853 a
<b>F</b>	52,72 b	5,86	5,4 cd	78,560 ac
<b>AS</b>	42,84 bc	4,76	4,8 c	56,903 b
<b>CAS</b>	45,78 bc	5,09	5,4 d	63,510 bc
<b>AR</b>	43,18 bc	4,79	4,3 b	75,560 abc
<b>M</b>	36,56 c	4,06	4,0 b	74,720 ac

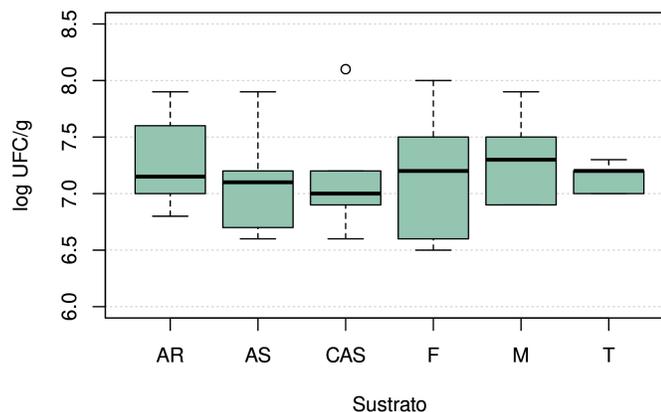
\*/ T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.

Se observó un efecto significativo de los tratamientos sobre la altura alcanzada por el cultivo ( $P=2*10^{-16}$ ). Todos los tratamientos variaron significativamente con respecto a la Turba que fue utilizada como control. AR y M no variaron significativamente, pero ambos presentaron diferencias significativas con F, AS y CAS. AS difirió significativamente de CAS. El tratamiento con mayor altura promedio fue T, mientras que la menor altura promedio se obtuvo en M (Tabla 3, Apéndice 6).

El %CF fue influido significativamente por el tratamiento ( $P=0,0032$ ). AS difirió significativamente de F ( $P=0,036$ ) y de T ( $P=0,0022$ ). CAS varió significativamente con respecto a T ( $P=0,011$ ). No se observaron diferencias significativas entre AR y el resto de los tratamientos. El mayor valor de %CF promedio se alcanzó en T con diferencias significativas con respecto al resto. F, AR y M presentaron valores entre 70% y 80%, mientras que AS consiguió el valor de %CF más bajo (Tabla 3, Apéndices 7 y 8).

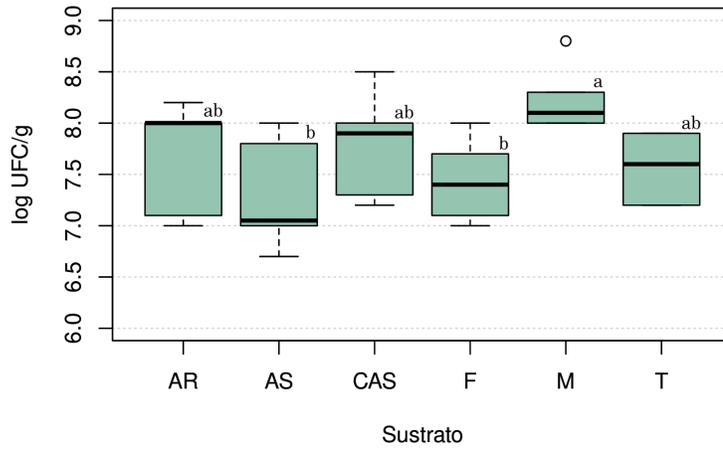
### Carga microbiana

No se observaron diferencias significativas en las unidades formadoras de colonias por gramo de muestra ( $\log \text{ UFC g}^{-1}$ ) entre los tratamientos para el análisis realizado a la cosecha ( $P=0,462$ ), sin embargo, en el análisis realizado a los sustratos, M ( $8,2 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ) varió significativamente con respecto a AS ( $7,43 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ,  $P=0,0093$ ) y F ( $7,28 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ,  $P=0,038$ ). En ambos casos M presentó los valores más altos (Figuras 2 y 3, Apéndice 9).



**Figura 2.** Recuento de Unidades Formadoras de Colonias ( $\log \text{ UFC g}^{-1}$ ) en muestras de cultivo. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.

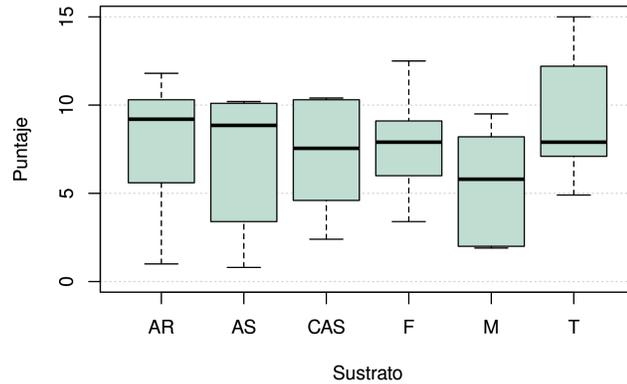
Nota: En los diagramas de caja el 50% de los datos están contenidos por la caja (rango intercuartil), la línea negra representa la mediana y los bigotes representan el 25% más bajo y más alto de los datos, con sus límites indicando el valor mínimo y máximo.



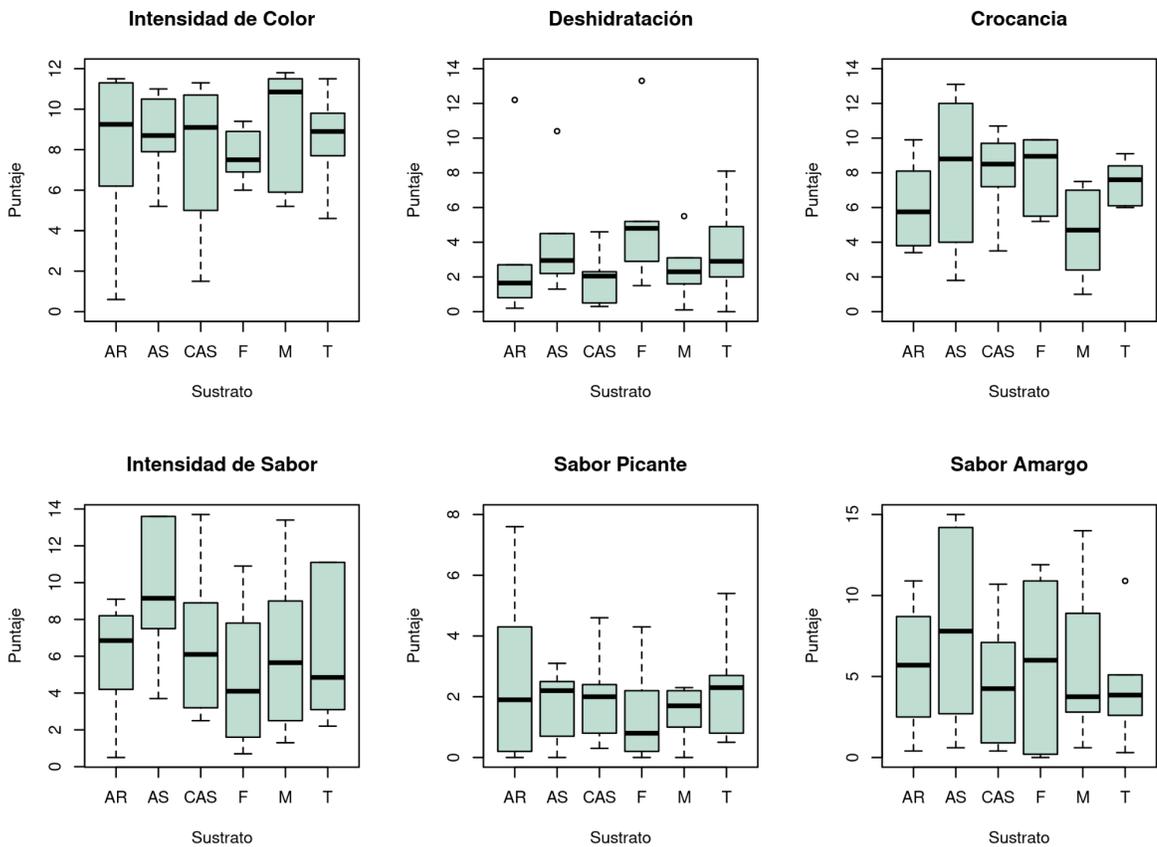
**Figura 3.** Recuento de Unidades Formadoras de Colonias (log UFC g<sup>-1</sup>) en muestras de cada sustrato. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.

### Análisis Sensorial

No se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos en ninguna de las variables evaluadas (Figuras 4 y 5).



**Figura 4.** Grado de aceptación general de *microgreens* de mizuna verde cultivados en distintos sustratos. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.



**Figura 5.** Puntaje obtenido por cada tratamiento en los distintos atributos evaluados en el análisis sensorial. T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.

### Costo por bandeja

El tratamiento con mayor costo por bandeja fue T, seguido de cerca por F. AR y M tuvieron costos similares, siendo AS el sustrato con el costo más bajo y la relación beneficio/costo más alta (Tabla 4). F obtuvo la menor relación beneficio/costo, seguida por T y M.

**Tabla 4.** Rentabilidad de *microgreens* de mizuna en distintos sustratos asumiendo un valor de \$120 g<sup>-1</sup> de acuerdo a su rendimiento (Tabla 3).

Tratamiento*	Ganancia estimada (\$)	Costo por bandeja (\$)	Ganancia neta (\$)	Relación beneficio/costo
T	7.904,33	939,67	6.964,67	7,41
F	5.393,83	932,57	4.461,25	4,78
AS	4.909,87	230,93	4.678,94	20,26
CAS	5.120,27	373,33	4.746,93	12,72
AR	4.750,10	431,50	4.318,60	10,01
M	3.921,47	465,73	3.455,73	7,42

\*/ T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.

## DISCUSIÓN Y PROYECCIONES

De los sustratos evaluados en este estudio como alternativa a la turba algunos presentaron mejores resultados que otros en el cultivo de *microgreens* de mizuna verde. Aunque no de manera absoluta, las propiedades físicas de cada material pueden dar indicios de la causa de estas variaciones. En el caso del sistema hidropónico en el que se desarrolló el ensayo, la pendiente de la curva característica (Figura 1) entre los 3 hPa y 10 hPa da cuenta de la facilidad con la cual se hidratan y deshidratan los materiales. AR y M presentan altos valores de contenido hídrico inicial (>100%), ya que si bien no son materiales porosos, estos describen una trama porosa que en saturación presenta mayor proporción de agua que de sustrato, sin embargo, al aumentar la fuerza de succión hídrica, el agua se pierde rápidamente, manifestando su baja capacidad absorbente. Por el contrario, T, F, AS y CAS presentan una pendiente suave entre estos puntos, reflejando una pérdida gradual de agua que en eventos de estrés hídrico es una ventaja. Es importante considerar la diferencia observada en la retención de agua (RA) entre T, F y AS con respecto a CAS. Los tres primeros tratamientos presentaron una RA cercana al 50%, lo cual indica que ante un evento de estrés hídrico, un 50% del agua de saturación permanecerá retenida en estos sustratos, a diferencia de CAS, donde la RA observada fue de 9%. Sambo y col. (2008) evaluaron una serie de propiedades físicas de turba y cascarilla de arroz pulverizada a distintos tamaños y observaron que la RA está inversamente relacionada a los poros con aire (PA) y que la turba obtuvo mayor RA que la cascarilla en todos los casos, lo cual es coherente con lo observado en este ensayo. La mayor RA de T, F y AS se atribuye a que son materiales fibrosos, a diferencia de la cascarilla de arroz. La porosidad de un sustrato influye en su capacidad de intercambio

gaseoso y por ende en la tasa de respiración de las raíces (Raviv y col., 2002). F, AS y CAS presentan valores de PA dentro del rango ideal sugerido de 10% a 30% para un medio de cultivo (Wiggins y col., 2020), aunque T no se aleja por mucho (8,3 %). Se ha observado que una combinación de RA alta y PA bajo inducen a una disminución en el rendimiento del cultivo (Wiggins y col., 2020). Los altos valores de PA de AR y M se deben a su ya mencionada estructura de trama porosa. El pH y la CE de todos los tratamientos se encuentran dentro del rango sugerido para medios de cultivo (Di Gioia y col., 2017). Se sugiere investigar el efecto del pH y la CE en la etapa de germinación en materiales como la arpillera, donde la planta se ve influenciada por el medio solo hasta que el desarrollo radicular alcanza el reservorio de agua. CAS describió un valor de CE ligeramente mayor a los demás tratamientos, posiblemente debido a su contenido mineral (Kumar y col., 2013). La densidad aparente seca (DA) influye en la facilidad de manejo de los materiales; una menor DA indica menor masa por unidad de volumen, que se traduce en mayor comodidad en el transporte y la manipulación del sustrato. Los materiales utilizados en el cultivo sin suelo tienden a presentar bajos valores de DA (Raviv y col., 2002; Carlile y col., 2019; Hoang y Vu, 2022). En este caso, CAS y AS obtuvieron los valores de DA más bajos, mientras que F obtuvo el más alto.

El efecto del medio de cultivo sobre el rendimiento y la calidad de los *microgreens* ha sido demostrado en diversas ocasiones (Bohne, 2001; Di Gioia y col., 2017; Thuong y Minh, 2020; Bulgari y col., 2021). Similar a lo observado por otros autores (Hoang y Vu, 2022), aunque con valores más bajos en este caso, la turba mostró los mejores resultados en cuanto a rendimiento, altura y porcentaje de cobertura foliar (%CF), sin embargo, el impacto ambiental derivado de su utilización sigue siendo un problema. De

entre todas las alternativas evaluadas la fibra de coco fue la que más se acercó al desempeño de la turba, con un incremento de 5,9 veces con respecto a los gramos sembrados. Se ha reportado buenos resultados en términos de rendimiento, peso fresco y altura utilizando fibra de coco como medio de cultivo de *microgreens* de chía, rábano, albahaca y otras variedades pertenecientes al género *Brassica* producidos en ambiente controlado (Juntapiw y Sangpituk, 2019; Thuong y Minh, 2020; Bulgari y col., 2021; Hoang y Vu, 2022; ), sin embargo, también se ha señalado algunas consideraciones necesarias al momento de usar este material, como inconsistencias fisicoquímicas, microbiológicas y su eventualmente alta concentración de sales (Di Gioia y col., 2017). Se destaca la importancia de un buen enjuague de la fibra de coco previo a su utilización con el fin de eliminar residuos de nitrato de calcio derivados de su tratamiento industrial (Atzori y col., 2021). Se ha reportado el impacto sobre la calidad de los ecosistemas que genera el uso de suelo con residuos de coco derivados de su cosecha, a lo que se suma el consumo energético de su procesamiento y las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> derivadas del transporte (Schmilewski, 2013) y su costo, el más alto después de la turba (932,57 \$ por bandeja). Por otro lado, entre sus ventajas está que se trata de un material orgánico, renovable, compostable y de fácil manejo. Teniendo todo esto en cuenta, la fibra de coco constituye una alternativa posible a la turba para el cultivo de *microgreens* de mizuna verde, aunque se sugiere ajustar al método y las condiciones de cultivo.

Si bien se ha reportado buenos resultados utilizando aserrín como medio de crecimiento en sistemas hidropónicos (Yang y col., 2023), en este caso el desarrollo del cultivo no fue óptimo lo cual se vio reflejado en el rendimiento y %CF. Cuando el aserrín no está compostado o estabilizado tiende a experimentar una inmovilización de nitrógeno que

puede causar efectos inhibitorios en el crecimiento vegetal en ausencia de fuentes externas de este elemento (Dorais y Begin, 2006; Gruda, 2019; Atzori y col., 2021), por lo que si este fue el caso, el efecto de la solución nutritiva pudo haber sido insuficiente para suplir ese déficit. Se sabe que el aserrín puede expresar fitotoxicidad y que la acumulación de estos compuestos tóxicos puede perjudicar el desarrollo vegetal (Gruda, 2019; Atzori y col., 2021), por lo que se sugiere evaluar exhaustivamente su influencia en cultivos de ciclo de producción corto como son los *microgreens*. Presenta baja capacidad tamponante y su pH está principalmente determinado por los demás sustratos con los que está mezclado o por el pH de la solución nutritiva, que en este caso fue 6,8, por lo que se asume que no experimentó variación a lo largo del estudio, sin embargo, se requiere un registro temporal de su evolución para afirmar esto con exactitud. También es sabido que el aserrín es especialmente sensible al régimen de irrigación debido a su baja capacidad de retención de agua (Laiche y Nash, 1990, Depardieu y col., 2016), aunque en un sistema hidropónico esto se evita manteniendo una saturación continua del sustrato. Una gran ventaja de este material es su bajo costo, en este caso, el más bajo de todos los tratamientos. Si bien la utilización de aserrín o fibras de madera como medio de cultivo representa una buena forma de reutilización de residuos generados por la industria maderera, siendo un recurso renovable y con disponibilidad local, se recomienda una versión más estable del producto, compostado o habiéndose tratado hidrotermalmente para reducir su fitotoxicidad (Gruda, 2019), lo cual aumentaría su costo. Aunque los resultados invitan a preferir otras alternativas, sigue siendo una oportunidad de exploración ya que con el manejo adecuado podría aumentar su desempeño.

La cascarilla de arroz presentó buenos resultados, alcanzando el rendimiento más alto después de la fibra de coco (45,78 g/bandeja), la mayor altura después de la turba (5,4 cm), y el costo por bandeja más bajo después del aserrín (\$373,3). En cuanto al manejo, este sustrato requirió mayor atención pues su baja RA lo vuelve especialmente propenso a la pérdida de humedad, sobre todo en la etapa previa a la subirrigación, por lo que se sugiere evitar corrientes de aire directas que por convección aumenten su evapotranspiración. Si bien a la fecha este es el primer estudio que aborda el cultivo de *microgreens* de mizuna verde en cascarilla de arroz, es sabido que mejores resultados pueden obtenerse utilizando este material compostado o en mezcla con otros sustratos (Laiche y Nash, 1990; Adekiya y col., 2022), por lo que se recomienda evaluar su desempeño junto a materiales que le aporten retención de humedad, como fibra de coco, compost o algún biocarbón (Carlile y col., 2019). La cascarilla de arroz es un sustrato versátil de carácter renovable, orgánico, ligero, disponible localmente y de bajo costo con gran potencial como alternativa a la turba en el cultivo de *microgreens*.

La arpillera y la malla plástica son los materiales de más fácil manejo, la primera con la ventaja de ser compostable, y la segunda de ser reutilizable. Sin embargo, M mostró el rendimiento más bajo de todos los tratamientos, a diferencia de AR que alcanzó un rendimiento aceptable. Ambos destacaron por un buen %CF, aunque obtuvieron los menores valores de altura. A diferencia de lo observado en este estudio, otros autores han obtenido excelentes resultados utilizando arpillera o fibras basadas en yute (Di Gioia y col., 2017; Nolan, 2019; Li y col., 2021), lo que puede deberse a factores como, la solución nutritiva (Petropoulos y col., 2021), la especie de planta evaluada, la iluminación (Craver y col., 2017) o la densidad de siembra (Li y col., 2021; Nolan,

2019). También se ha encontrado mayor concentración de compuestos antioxidantes en albahaca cultivada en arpillera que en otros sustratos evaluados (Li y col., 2021). A la fecha no hay estudios publicados evaluando el desempeño de malla mosquitera en el cultivo de *microgreens*, aunque se ha descrito la utilización de mallas de acero inoxidable como medio viable para este fin (Kamakshi, 2022). Los materiales de este tipo destacan por su limpieza ya que se evita la contaminación del material vegetal con partículas de sustrato, y en el caso de la arpillera, es posible comercializar el producto vivo sin cosechar, entregándolo empacado con su medio de crecimiento. A esto se suma la facilidad de cosecha aportada por estos medios de crecimiento.

De acuerdo con el análisis financiero, el aserrín es el material con mejor relación beneficio/costo, por lo que a pesar de su bajo desempeño es más rentable cultivar en aserrín que en la mezcla de turba+perlita. Esto no necesariamente indica que el aserrín sea el sustrato ideal, ya que sigue presentando falencias en el desarrollo del cultivo y el producto obtenido, sin embargo, se plantea como una alternativa muy interesante por explorar considerando su potencial. CAS y AR también presentaron una buena relación beneficio/costo, y considerando las ventajas de su utilización y los resultados obtenidos en cada uno, siguen siendo alternativas posibles a la turba con potencial de mejorar su desempeño.

La carga microbiana de los *microgreens* frescos fue similar entre los tratamientos, salvo en M donde se observó valores mayores, aunque no significativos. En el caso de las muestras de sustrato, M presentó valores significativamente más altos que F y AS, siendo estos últimos los dos tratamientos con menor carga microbiana. Esto puede deberse a que la malla mosquitera fue reutilizada entre las distintas réplicas y el proceso

de sanitización pudo no haber sido el óptimo, por lo que en caso de reutilizarse es recomendable una sanitización más intensa con escobillado. Sin embargo, se han reportado valores similares (altos en comparación a otros productos frescos) que han sido atribuidos al microclima de mayor humedad generado por los *microgreens* y la textura suave de sus hipocotilos, por lo que se sugiere realizar la sanitización del producto para un consumo completamente seguro (Chandra y col., 2012; Di Gioia y col., 2017). El análisis sensorial arrojó resultados muy similares entre todos los tratamientos, descartando el efecto del sustrato en la experiencia sensorial de él o la consumidora, sin embargo, esto era esperable ya que se trata de la misma especie estudiada. Para refinar los resultados se sugiere utilizar un plantel entrenado y evaluar el perfil sensorial de distintas especies. Se ha observado que *microgreens* cultivados en sustratos basados en turba tienden a acumular mayores cantidades de  $\text{NO}_3^-$  que aquellos cultivados en materiales textiles y fibras vegetales (Di Gioia y col., 2017; Li y col., 2019; Hoang y Vu, 2022).

El acondicionamiento de los sustratos es un proceso clave ya que determina las condiciones del medio en el que se desarrollarán las plantas. En el enjuague de aserrín se perdió bastante material de menor tamaño, por lo que se sugiere evaluar como sustrato un viruta o aserrín con partículas gruesas. Con la fibra de coco ocurrió un fenómeno similar, pero en menor medida, y con la cascarilla de arroz se observó una pérdida mínima. La importancia de esto radica en el costo de la pérdida de material en la etapa de acondicionamiento y cómo minimizarlo. La densidad de siembra es fundamental en los resultados obtenidos, y aunque si bien para este ensayo se realizaron pruebas previas, se recomienda evaluar con mayor profundidad el efecto de esta variable sobre el

desarrollo del cultivo en distintos sustratos (Junpatiw y Sangpituk, 2019; Nolan, 2019). También se recomienda evaluar el rendimiento de mezclas constituidas por materiales como la fibra de coco, la cascarilla de arroz o el aserrín con biocarbones e hidrocarbones, ya que estos han probado ser buenos estabilizantes que enriquecen el medio de crecimiento con sus buenas propiedades físicas y químicas (Fornes y Belda, 2015; Awad y col., 2017), y finalmente, evaluar de qué manera influyen las distintas mezclas en el contenido de fitonutrientes de los *microgreens*.

## CONCLUSIONES

El sustrato utilizado como medio de crecimiento afecta el desarrollo del cultivo de *microgreens*. En cuanto al rendimiento general, la fibra de coco y la cascarilla de arroz se proponen como buenas alternativas para el cultivo de *microgreens* de mizuna verde ya que mostraron el mayor incremento en los gramos cosechados respecto a los gramos sembrados, son de fácil manejo y presentan un menor impacto ambiental que la turba o la perlita. El cultivo en aserrín es económicamente viable debido a su excelente relación costo/beneficio, y con un manejo que contemple su estabilización, podría convertirse en una solución sólida en la búsqueda de sustratos sustentables. La efectividad de los sustratos debe evaluarse en condiciones que favorezcan sus cualidades permitiendo explotar al máximo su potencial. En las condiciones evaluadas, la utilización de un medio de crecimiento alternativo no afectará de manera significativa la experiencia sensorial ni la carga microbiana del producto, pero sí el rendimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adekiya, A.O., Ayeni, J.F., Olayanju, A., Aremu, C., Akpor, O.B., Olaniran, A.F., ... & Suleiman, O.K. (2022). Potentials of soilless substrates from biochar and rice husk as a replacement for cocopeat in Nigeria on tomato (*Solanum lycopersicum*). *Research on Crops*, 23(1), 139-148.
- Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 8(2), 24.
- Asaduzzaman, M.D., Kobayashi, Y., Mondal, M.F., Ban, T., Matsubara, H., Adachi, F., & Asao, T. (2013). Growing carrots hydroponically using perlite substrates. *Scientia Horticulturae*, 159, 113-121.
- Atzori, G., Pane, C., Zaccardelli, M., Cacini, S., & Massa, D. (2021). The Role of Peat-Free Organic Substrates in the Sustainable Management of Soilless Cultivations. *Agronomy*, 11(6), 1236.
- Awad, Y.M., Lee, S.E., Ahmed, M.B.M., Vu, N.T., Farooq, M., Kim, I.S., ... & Ok, Y.S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581-588.
- Bar-Tal, A., Saha, U. K., Raviv, M., & Tuller, M. (2019). Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixtures. En *Soilless culture* (pp. 259-301). Elsevier.
- Barrett, G.E., Alexander, P.D., Robinson, J.S., & Bragg, N.C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems—A review. *Scientia horticulturae*, 212, 220-234.

- Bohne, H. (2001, September). Growth of nursery crops in peat-reduced and in peat-free substrates. En *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 644* (pp. 103-106).
- Bulgari, R., Negri, M., Santoro, P., & Ferrante, A. (2021). Quality evaluation of indoor-grown microgreens cultivated on three different substrates. *Horticulturae*, 7(5), 96.
- Carlile, W.R., Raviv, M., & Prasad, M. (2019). Organic soilless media components. *Soilless Culture*, 303-378.
- Chandra, D., Kim, J. G., & Kim, Y. P. (2012). Changes in microbial population and quality of microgreens treated with different sanitizers and packaging films. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 53, 32-40.
- Cowan, N., Ferrier, L., Spears, B., Drewer, J., Reay, D., & Skiba, U. 2022. CEA systems: the means to achieve future food security and environmental sustainability?. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 891256.
- Craver, J.K., Gerovac, J.R., Lopez, R.G., & Kopsell, D.A. (2017). Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within *Brassica* microgreens. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 142(1), 3-12.
- Di Gioia, F., De Bellis, P., Mininni, C., Santamaria, P., & Serio, F. (2017). Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa* L.) microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1212-1219.

- Depardieu, C., Premont, V., Boily, C., & Caron, J. (2016). Sawdust and bark-based substrates for soilless strawberry production: Irrigation and electrical conductivity management. *PloS one*, *11*(4), e0154104.
- Díaz, María F., Wladimir Silva, & Carolina A. León. 2015. Características de los ecosistemas de turberas, factores que influyen en su formación y tipos. En Erwin Domínguez y Débora Vega Valdés (eds). *Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes*, Cap. 1 p. 27-39. Punta Arenas: Colección de libros INIA N°33. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Kampenaika. Centro Regional de Investigación.
- Dorais, M., Menard, C., & Begin, G. (2006, August). Risk of phytotoxicity of sawdust substrates for greenhouse vegetables. In *XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Advances in Environmental Control, Automation 761* (pp. 589-595).
- Ebert, A.W. (2022). Sprouts and microgreens—novel food sources for healthy diets. *Plants*, *11*(4), 571.
- Engler, N., & Krarti, M. (2021). Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *141*, 110786.
- Fornes, F., & Belda, R.M. (2015, April). Are biochar and hydrochar adequate materials as growth medium constituents? A summary of the research carried out at UPV. In *III International Symposium on Organic Matter Management and Compost Use in Horticulture 1146* (pp. 243-250).
- Gruda, N., & Schnitzler, W.H. (1999, August). Physical properties of wood fiber substrates and their effect on growth of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L. var.

- capitata* L.). In International Symposium on Growing Media and Hydroponics 548 (pp. 415-424).
- Gruda, N.S. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6), 298.
- Hoang, G.M., & Vu, T.T. (2022). Selection of suitable growing substrates and quality assessment of Brassica microgreens cultivated in greenhouse. *Academia Journal of Biology*, 44(2), 133-142.
- Joosten, H., Sirin, A., Couwenberg, J., Laine, J., & Smith, P. (2016). *The role of peatlands in climate regulation* (Vol. 66). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Junpatiw, A., & Sangpituk, A. (2019). Effects of seed preparation, sowing media, seed sowing rate and harvesting period on the production of chia microgreens. *GEOMATE Journal*, 17(61), 80-85.
- Kabra, S., Katara, S., & Rani, A. (2013). Characterization and study of Turkish perlite. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(9), 4319-4326.
- Kamakshi Kanchana, M., (2022). Indoor Microgreens Landscaping, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 11(3), 155.
- Kumar, S., Sangwan, P., Dhankhar, R.M.V., & Bidra, S. (2013). Utilization of rice husk and their ash: A review. *Research Journal of Chemical & Environmental Science*, 1(5), 126-129.

- Laiche Jr, A.J., & Nash, V.E. (1990). Evaluation of composted rice hulls and a lightweight clay aggregate as components of container-plant growth media. *Journal of Environmental Horticulture*, 8(1), 14-18.
- Li, T., Lalk, G.T., Arthur, J.D., Johnson, M.H., & Bi, G. (2021). Shoot production and mineral nutrients of five microgreens as affected by hydroponic substrate type and post-emergent fertilization. *Horticulturae*, 7(6), 129.
- Martellozzo, F.E., Landry, J.S., Plouffe, D., Seufert, V., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2014). Urban agriculture: a global analysis of the space constraint to meet urban vegetable demand. *Environmental Research Letters*, 9(6), 064025.
- Muchjajib, U., Muchjajib, S., Suknikom, S., & Butsai, J. (2014, August). Evaluation of organic media alternatives for the production of microgreens in Thailand. In *XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1102* (pp. 157-162).
- Muller, A., Ferré, M., Engel, S., Gattinger, A., Holzkämper, A., Huber, R., ... & Six, J. (2017). Can soil-less crop production be a sustainable option for soil conservation and future agriculture?. *Land Use Policy*, 69, 102-105.
- Nolan, D. A. (2019). Effects of seed density and other factors on the yield of microgreens grown hydroponically on burlap.
- Page, S., Mishra, S., Agus, F., Anshari, G., Dargie, G., Evers, S., ... & Evans, C. D. (2022). Anthropogenic impacts on lowland tropical peatland biogeochemistry. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(7), 426–443.

- Petropoulos, S.A., El-Nakhel, C., Graziani, G., Kyriacou, M.C., & Rouphael, Y. (2021). The effects of nutrient solution feeding regime on yield, mineral profile, and phytochemical composition of spinach microgreens. *Horticulturae*, 7(7), 162.
- Rajan, P., Lada, R.R., & MacDonald, M.T. (2019). Advancement in indoor vertical farming for microgreen production. *American Journal of Plant Sciences*, 10(08), 1397.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., & Bar-Tal, A. (2002). Substrates and their analysis. En Savvas D. y Passam H. (eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, Cap 2. p. 25-102. Faculty of Agricultural Technology, Technological Educational Institute of Epirus. Grecia.
- Renna, M., & Paradiso, V. M. (2020). Ongoing research on microgreens: nutritional properties, shelf-life, sustainable production, innovative growing and processing approaches. *Foods*, 9(6), 826.
- Sadzawka R., A., Carrasco R., M.A., Grez Z., R., & Mora G., M.L. (2005) *Métodos de análisis de compost* [en línea]. Santiago, Chile: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 30. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/8431> (Consultado: 20 febrero 2023).
- Sambo, P., Sannazzaro, F., & Evans, M.R. (2008). Physical properties of ground fresh rice hulls and sphagnum peat used for greenhouse root substrates. *HortTechnology*, 18(3), 384-388.
- Schmilewski, G. (2013, June). Producing growing media responsibly to help sustain horticulture. In *International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation 1034* (pp. 299-306).

- Shamshiri, R.R., Kalantari, F., Ting, K.C., Thorp, K.R., Hameed, I.A., Weltzien, C., ... & Mojgan, Z. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22
- Solano, K.D.G., Mendoza, M.D.L.N.R., Trejo-Télez, L.I., Cue, J.L.G., & Escudero, J.S. (2013). Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. *Interciencia*, 38(12), 863-869.
- Teng, Z., Luo, Y., Pearlstein, D.J., Wheeler, R.M., Johnson, C.M., Wang, Q., & Fonseca, J. (2022). Microgreens for Home, Commercial, and Space Farming: A Comprehensive Update of the Most Recent Developments. *Annual Review of Food Science and Technology*, 14, 539-562
- Thuong, V.T., & Minh, H.G. (2020). Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens. *Research on Crops*, 21(3), 579-586.
- Wiggins, Z., Akaeze, O., Nandwani, D., & Witcher, A. (2020). Substrate properties and fertilizer rates on yield responses of lettuce in a vertical growth system. *Sustainability*, 12(16), 6465.
- Yang, T., Altland, J.E., & Samarakoon, U.C. (2023). Evaluation of substrates for cucumber production in the Dutch bucket hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 308, 111578.
- Zulfiqar, F., Allaire, S.E., Akram, N.A., Méndez, A., Younis, A., Peerzada, A.M., ... & Wright, S.R. (2019). Challenges in organic component selection and biochar as an

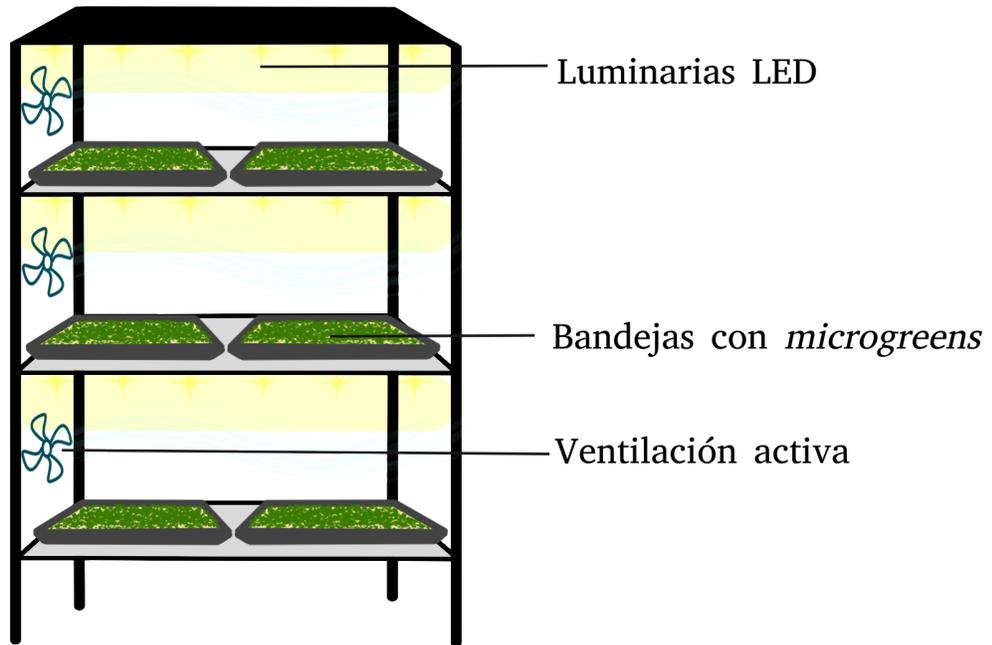
opportunity in potting substrates: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11-12), 1386-1401.

## APÉNDICE

**Apéndice 1.** Medios de crecimiento evaluados en este estudio. (T) turba, (F) fibra de coco, (AS) aserrín, (CAS) cascarilla de arroz, (AR) arpillera, (M) malla mosquitera.



**Apéndice 2:** Esquema del bloque definido para el diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA) (elaboración propia).



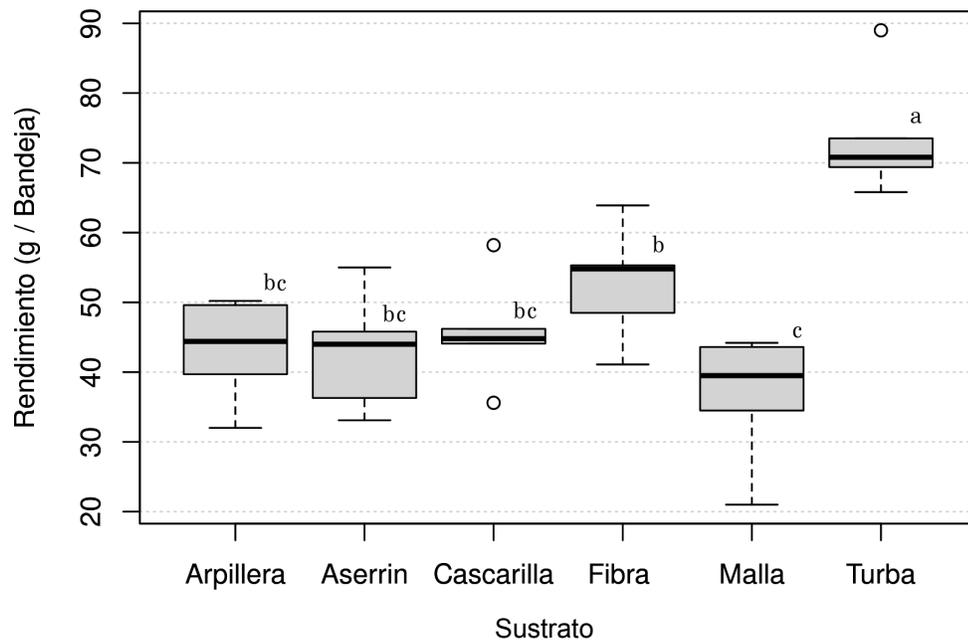
**Apéndice 3.** Sustratos listos para ser sembrados.



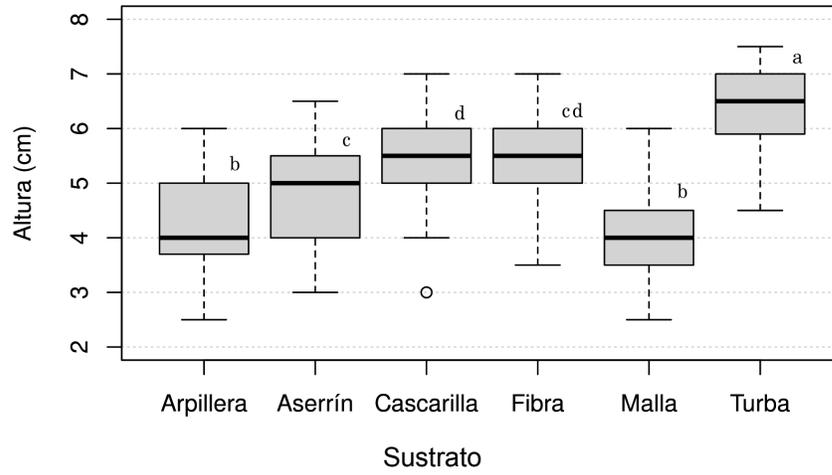
**Apéndice 4.** Esquema de riego por subirrigación.



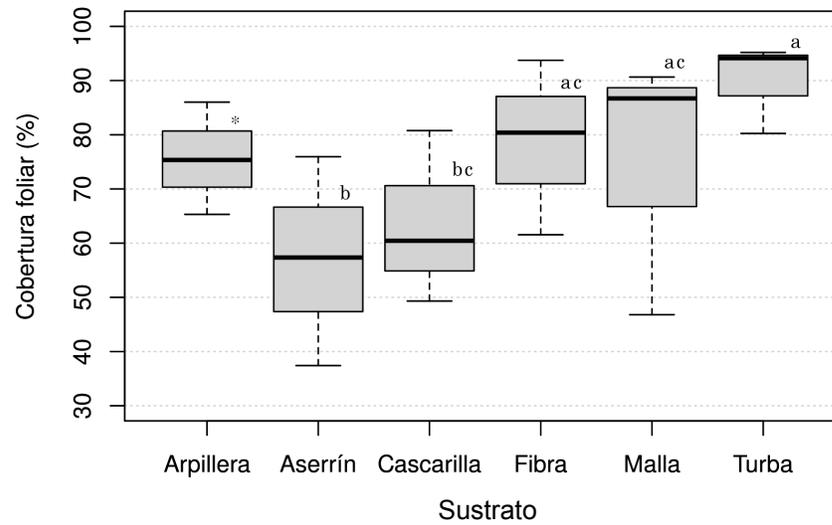
**Apéndice 5:** Rendimiento de *microgreens* de mizuna cultivados en bandejas con diferentes sustratos.



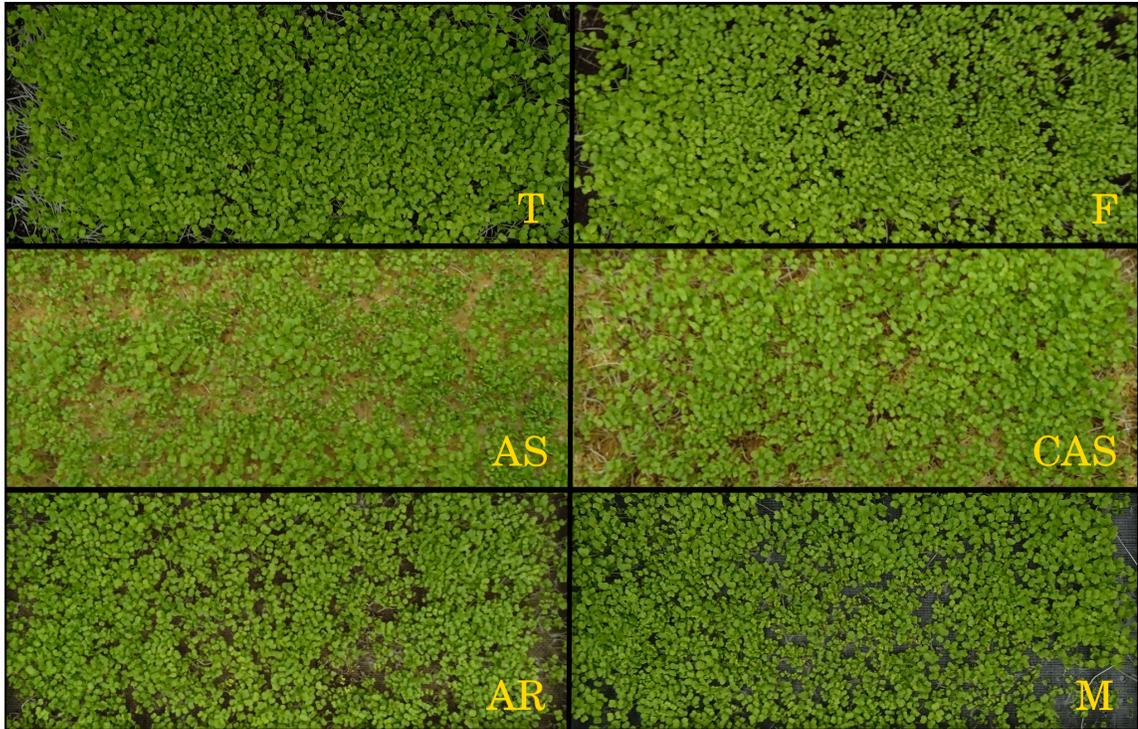
**Apéndice 6.** Altura de mizuna cultivada en bandejas de diversos sustratos a los 10 días de siembra.



**Apéndice 7.** Porcentaje de cobertura foliar en cada sustrato.



**Apéndice 8.** Cobertura foliar de bandejas con diferentes sustratos. De la primera a la última imagen, *microgreens* creciendo en (T) turba, (F) fibra de coco, (AS) aserrín, (CAS) cascarilla de arroz, (AR) arpillera y (M) malla mosquitera.



**Apéndice 9.** Recuento de UFC totales en cada tratamiento de acuerdo al análisis realizado a muestras frescas de *microgreens* y a muestras frescas de sustrato.

Tratamiento*	Recuento de UFC totales (log UFC g <sup>-1</sup> )	
	Muestras microgreens	Muestras sustratos
T	7,16	7,55 ab
F	7,17	7,43 b
AS	7,09	7,28 b
CAS	7,14	7,8 ab
AR	7,28	7,66 ab
M	7,31	8,2 a

\*/ T: turba, F: fibra de coco, AS: aserrín, CAS: cascarilla de arroz, AR: arpillera, M: malla mosquitera.